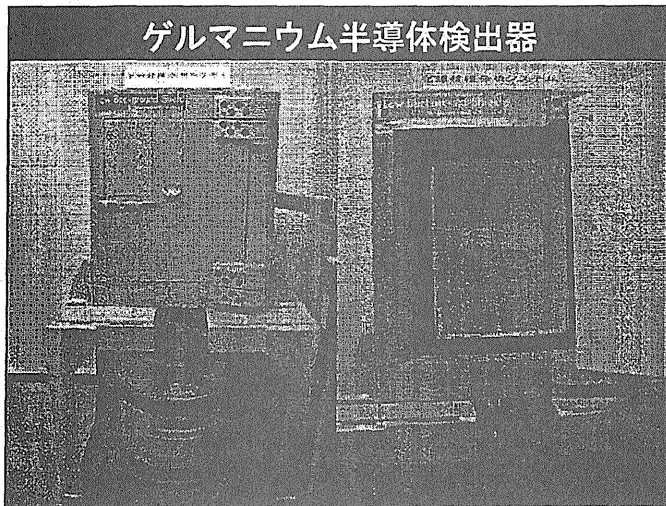
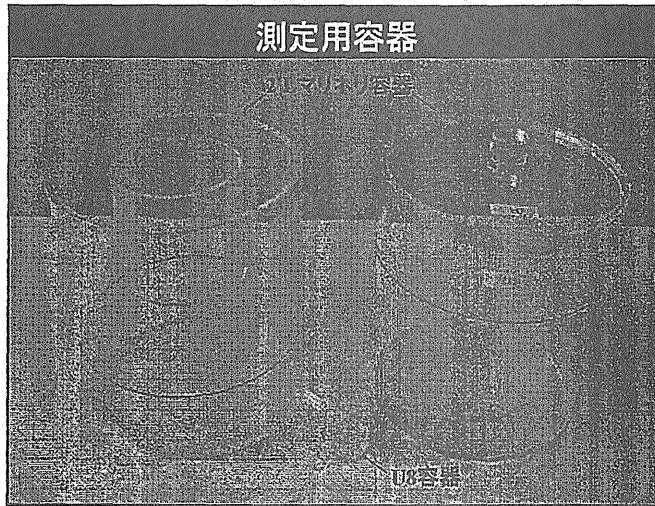


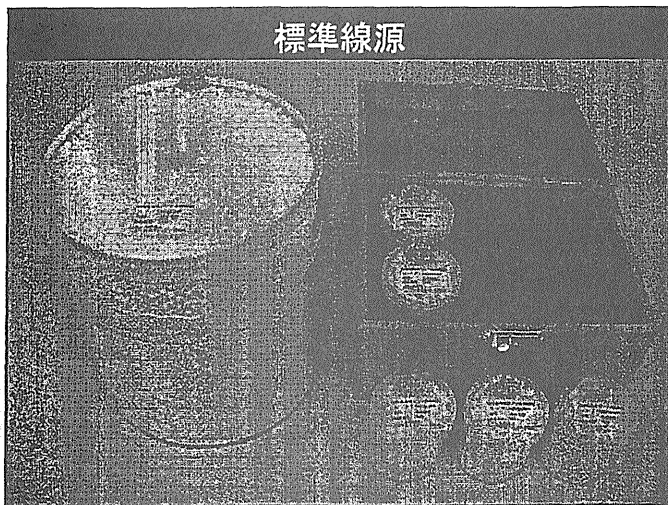
ゲルマニウム半導体検出器



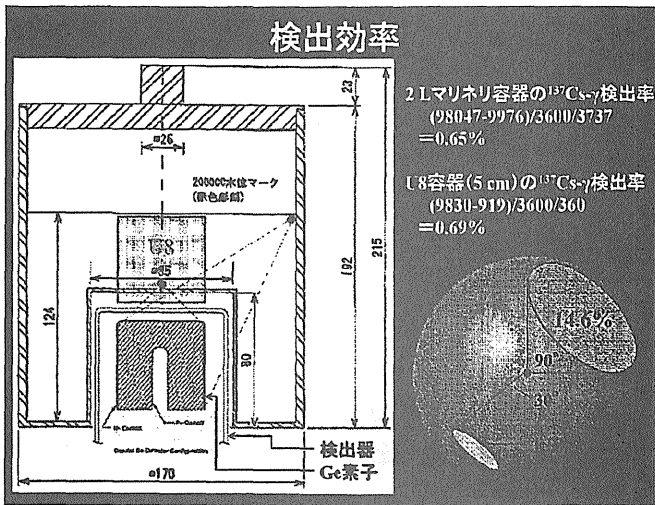
測定用容器

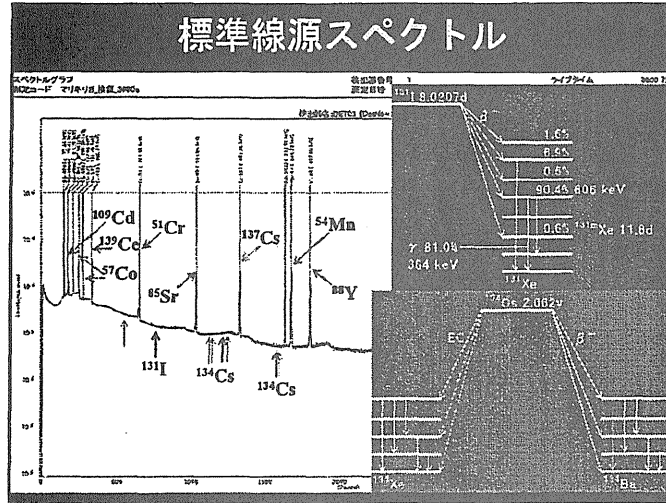


標準線源



検出効率





標準線源分析結果

測定情報	検出器番号 No. 1	測定位置	下段
測定日時	2011年05月04日 10時00分	測定位置	下段
測定時間	LT 2800 秒 RT 3000 秒	測定コメント	検出器名のRFD1 (D=0.1)
分析条件	検体一步 70-検体用検体一步 BG補正 する(補正係数)	測定補正	測定中の補正 エネルギー校正 20110524 効率校正 マリヤリ用線源20110524

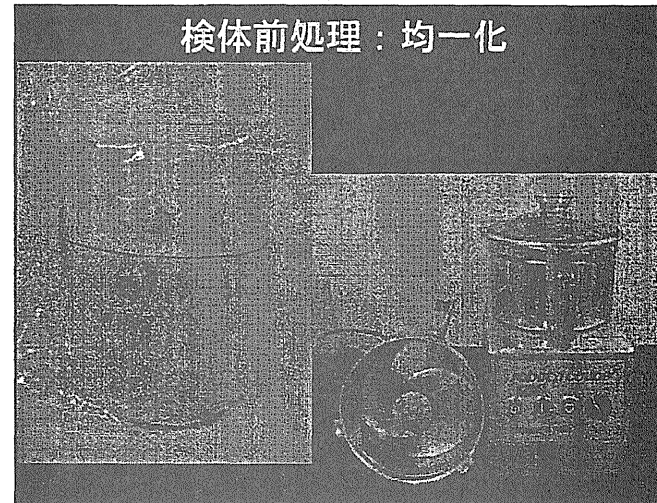
No.	核種名	エネルギー (keV)	半減期	放射線種類	放射線強度	測定値	標準値
1	Cd-109	88.03	4.60E+07 D	γ	2.600E+04 ± 0.005E+01	2.000E+04 ± 5.096E-01	2.281E+02
2	Co-57	122.05	2.72E+02 D	γ	1.357E+03 ± 4.011E-00	1.353E+03 ± 3.853E+00	8.017E+00
3	Cs-137	137.01	3.01E+01 Y	γ	1.235E+03 ± 1.591E+01	1.353E+03 ± 3.853E+00	5.955E+01
4	Mn-54	103.93	3.72E+02 D	γ	1.235E+03 ± 3.724E+00	1.220E+03 ± 2.794E+00	8.340E+00
5	Cr-51	320.08	2.77E+01 D	γ	1.410E+04 ± 8.223E-01	7.410E+04 ± 2.823E+01	5.193E+01
6	Sr-85	514.00	8.49E+01 D	γ	1.233E+03 ± 4.482E+00	1.233E+03 ± 4.482E+00	8.400E+00
7	Cs-137	661.54	3.01E+01 Y	γ	1.010E+03 ± 6.473E+00	1.810E+03 ± 6.473E+00	8.051E+00
8	U-235	834.83	7.10E+08 Y	α	1.900E+03 ± 6.691E+00	1.900E+03 ± 6.691E+00	7.328E+00
9	Y-88	898.07	1.00E+02 D	γ	1.895E+03 ± 7.191E+00	1.812E+03 ± 5.351E+00	2.263E+00
10	Co-60	1173.21	5.27E+00 Y	γ	2.412E+03 ± 8.386E+00	2.403E+03 ± 8.053E+00	6.806E+00
11	Co-60	1332.47	5.27E+00 Y	γ	2.292E+03 ± 8.654E+00	2.403E+03 ± 8.023E+00	5.575E+00
12	Y-88	1856.13	1.00E+02 D	γ	1.740E+03 ± 8.147E+00	1.812E+03 ± 5.391E+00	2.578E+00

検査の信頼性確保

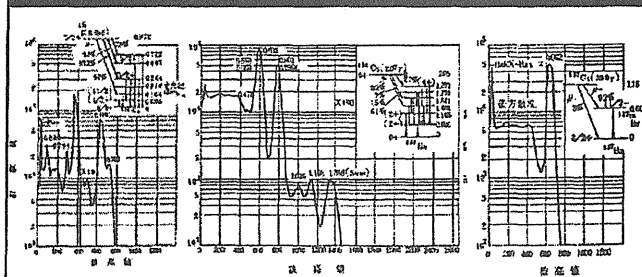
測定装置の管理
 エネルギー校正、ピーク効率校正、
 サム効果補正 (ピーク・トータル比校正)
 自己吸収補正、バックグラウンド管理

検体の調製
 均一化、空隙
 汚染防止

測定結果の確認
 ピーク位置
 測定値、再現性、検出限界



NaIシンチレーター分析例



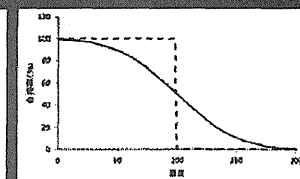
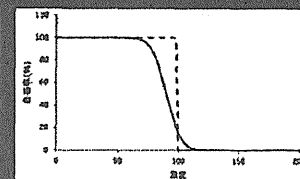
文部科学省：放射能測定法シリーズ 6
NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ機器分析法より

スクリーニング法

食品中の放射性セシウムスクリーニング法
(2012.3.1厚労省事務連絡)

スクリーニングの対象：一般食品（基準 100 Bq/kg）

1. 測定下限値：25 Bq/kg（基準値の1/4）以下
2. スクリーニングレベル：基準値の1/2 以上



検査の流れ

検体送付：密充てん状態で2 L以上
・食品が傷まないように

検体受領：受領後直ちに検査開始

検査・前処理（必要に応じて）

- ・充てん（2 Lマリネリ容器）
- ・重量測定
- ・ガンマ線測定
- ・試験成績書作成

結果報告

参考資料

食品中放射性物質の安全確保対策
月刊食料と安全,
9(12), 24-29 (2011)

食品の放射能測定について
クリーンテクノロジー,
22(3), 25-28 (2012)

食品中の放射性セシウム検査の 実際と問題点

- ・ 放射線とは
- ・ 食品の放射能汚染に対する規制
- ・ 食品の放射能測定
- ・ Ge半導体γ線スペクトロメトリ



サイエンスフォーラムセミナー 平成24年5月29日
放射性セシウム規制値への対応策と運用実態
(社)日本食品衛生協会 食品衛生研究所 村山三徳

元素

^1H : 陽子1, 電子1 ^{238}U : 陽子92, 中性子146, 電子92

1																	2		
H																	He		
3	4													5	6	7	8	9	10
Li	Be													B	C	N	O	F	Ne
11	12													13	14	15	16	17	18
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118		
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uub	Uus	Uuo		
67	68	69	70	71													71		
La	Ce	Pr	Nd	Pm													Lu		
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			103		
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			Lr		

水素原子の遷移

^1H : 陽子1, 電子1 ^3H : 陽子1, 中性子2, 電子1 ^4He : 陽子2, 中性子2, 電子2

中性子 β^- : 電子

^2H : 陽子1, 中性子1, 電子1

1																	2		
H																	He		
3	4													5	6	7	8	9	10
Li	Be													B	C	N	O	F	Ne
11	12													13	14	15	16	17	18
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118		
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uub	Uus	Uuo		

ウラン原子の遷移

^{238}U : 陽子92, 中性子146, 電子92 ^{234}Th : 陽子90, 中性子144, 電子90 $^{234\text{m}}\text{Pa}$: 陽子91, 中性子143, 電子91 ^{234}Pa : 陽子91, 中性子143, 電子91

^{238}U : 陽子92, 中性子146, 電子92 ^{238}Pu : 陽子94, 中性子144, 電子94 ^{234}U : 陽子92, 中性子142, 電子92 ^{230}Th : 陽子90, 中性子140, 電子90

89	90	91	92	93	94	95											
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am											

放射性物質の自然壊変

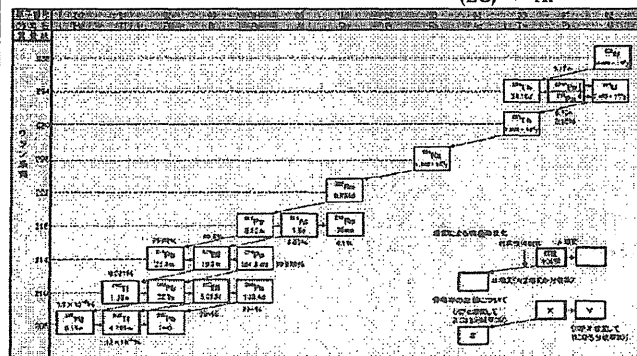
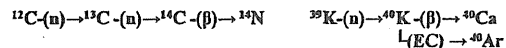


図1-1 天然放射性核種の壊変系列図(ウラン系列)(1/4)

熱中性子による²³⁵Uの核分裂収率

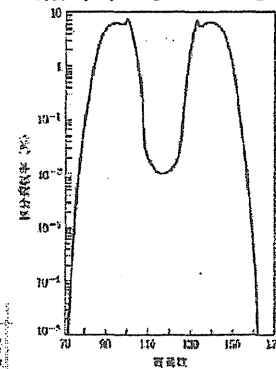


表1 平均断面積が10以上の主な核分裂生成物

核分裂生成物	核分裂生成物断面積 (b)	核分裂生成物断面積 (b)	核分裂生成物断面積 (b)	核分裂生成物断面積 (b)
⁹⁰ Zr	1.5	16.70y	¹³⁸ Ba	1.0
⁹² Zr	1.8	59.54y	¹⁴⁰ Ba	2.2
⁹⁴ Zr	3.6	234.5y	¹⁴² Ba	4.3
⁹⁶ Zr	2.6	64.14y	¹⁴⁴ Ba	6.3
⁹⁸ Zr	2.6	33.52y	¹⁴⁶ Ba	5.9
¹⁰⁰ Zr	0.2	6.04y	¹⁴⁸ Ba	5.4
¹⁰² Zr	0.1	33.15y	¹⁵⁰ Ba	5.4
¹⁰⁴ Zr	0.1	6.04y	¹⁵² Ba	6.2
¹⁰⁶ Zr	0.15	29.85y	¹⁵⁴ Ba	6.0
¹⁰⁸ Zr	0.25	3.0y	¹⁵⁶ Ba	2.6
¹¹⁰ Zr	0.25	100.2y	¹⁵⁸ Ba	2.6

周期表 (一部表示)

1	H	2	He	3	Li	4	Be	5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne
11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar	19	K	20	Ca
21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn
31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr	37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr
41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn
51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe	55	Cs	56	Ba	57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd
61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb
71	Lu	72	Hf	73	Ta	74	W	75	Re	76	Os	77	Ir	78	Pt	79	Au	80	Hg
81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po	85	At	86	Rn	87	Fr	88	Ra	89	Ac	90	Th
91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm
101	Md	102	No	103	Lr	104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds
111	Rg	112	Cn	113	Nh	114	Fl	115	Mc	116	Lv	117	Ts	118	Og	119	Uue	120	Uub

放射線

- アルファ線 : α ($p2, n2; ^4\text{He}^{2+}$)
- ベータ線 : β^\pm ($e^-; e^+$)
- ガンマ線 : γ (電磁波)
- 中性子線 : n

単位

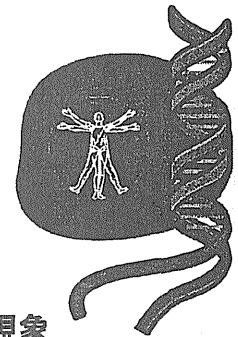
- 放射能 : Bq ; 1秒間に崩壊した原子核数
(ラジウム1gの放射能 = 37 GBq = 1 Ci)
- 吸収線量 : Gy (1 Gy = 1 J/kg = 100 rad)
- 実効線量 : Sv ; 人体の吸収放射線の影響度
(α : 1 Sv = 1 Gy \times 20; β, γ : 1 Sv = 1 Gy \times 1;
 n : 1 Sv = 1 Gy \times 5; 1 Sv = 100 rem)
- ¹³⁷Csの実効線量係数 (mSv/Bq)
吸入摂取 : 6.7×10^{-6} , 経口摂取 : 1.3×10^{-5}

放射線による障害

- 電離作用 : $\alpha > \beta > \gamma$
- 物理作用 : $\alpha > n > \beta$

- 早発性障害 :
脱毛、皮膚障害
悪心、嘔吐、全身倦怠

- 晩発性障害 :
放射線性白内障、加齢現象
白血病、悪性リンパ腫、癌



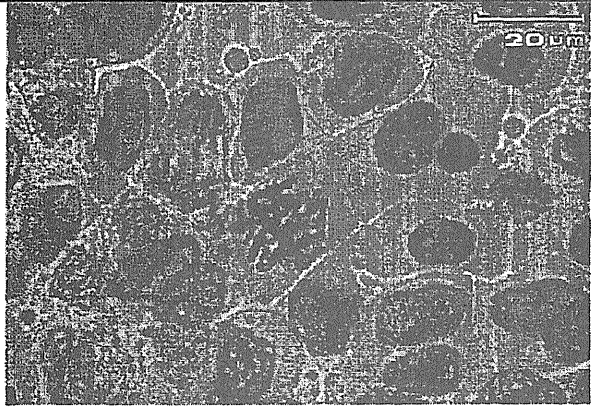
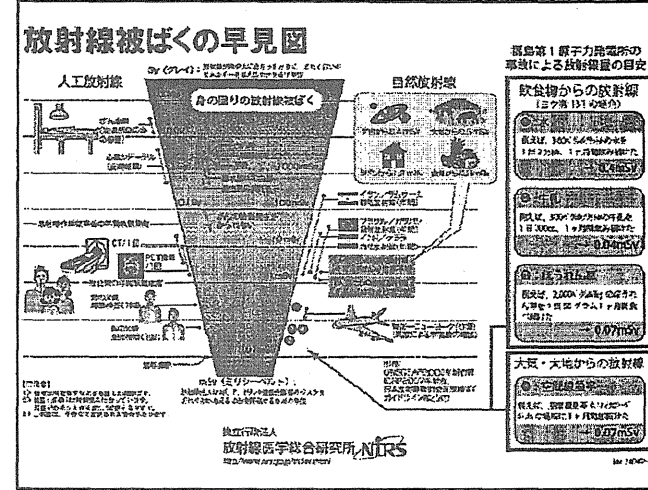


図27 タマネギ(種子)の体細胞分裂中の細胞 遠藤ら, 山形大学紀要(教育科学), 14, 65 (2007)より



食品の放射能汚染

- 1945～ 核実験
1963.8.5 部分的核実験禁止条約
(米, 英, 露) 後に111カ国
- 1954.3.1 第五福竜丸事件
- 1986.4.26 チェルノブイリ原発事故
輸入食品中の放射能暫定限度
 ^{134}Cs , ^{137}Cs の和として370 Bq/kg
- 1999.9.30 東海村JCO臨界事故
緊急時における食品の放射能測定マニュアル
- 2011.3.11 福島第一原発事故
飲食物摂取制限に関する指標
- 2012.4.1 食品衛生法に基づく規格基準

放射能汚染された食品の取り扱いについて 暫定規制値 (2011.3.17)

○飲食物摂取制限に関する指標

核種	原子力施設等の防災対策に係る指針における 摂取制限に関する指標値 (Bq/kg)	
放射性ヨウ素 (混合核種の代表核種: ^{131}I)	飲料水、牛乳・乳製品 注)	300
	野菜類(根菜、芋類を除く。) 飲料水、牛乳・乳製品	2,000 200
放射性セシウム	野菜類、穀類、 肉・卵・魚・その他	500
	乳幼児用食品、飲料水、 牛乳・乳製品	20
ウラン	野菜類、穀類、 肉・卵・魚・その他	100
	乳幼児用食品、飲料水、 牛乳・乳製品	1
プルトニウム及び 超ウラン元素のアルファ核種*	野菜類、穀類、 肉・卵・魚・その他	10

注) 100 Bq/kgを超える牛乳・乳製品は、乳児用調製粉乳及び直接飲用に供する乳に使用しないよう指導すること。
* ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{243}Cm , ^{244}Cm 放射能濃度の合計

放射能汚染食品の新基準値 (2012.4.1施行)		
○ 飲食物摂取制限に関する指標		
核種	摂取制限に関する指標値 (Bq/kg)	
放射性セシウム	飲料水、牛乳・乳製品	200
	野菜類、穀類、肉・卵・魚・その他	500
○ 基準値 (案) 2011.12.22		
核種	食品の区分	濃度 (Bq/kg)
放射性セシウム (¹³⁴ Cs、 ¹³⁷ Csの和)	飲料水、(茶飲料)	10
	牛乳、(乳飲料)	50
	乳児用食品	
	一般食品、(乳製品)	100
経過措置：米、牛肉；平成24年10月1日より適用 大豆；平成25年1月1日より適用 上記原材料食品；指定期日以降、製造、加工、輸入品に適用		

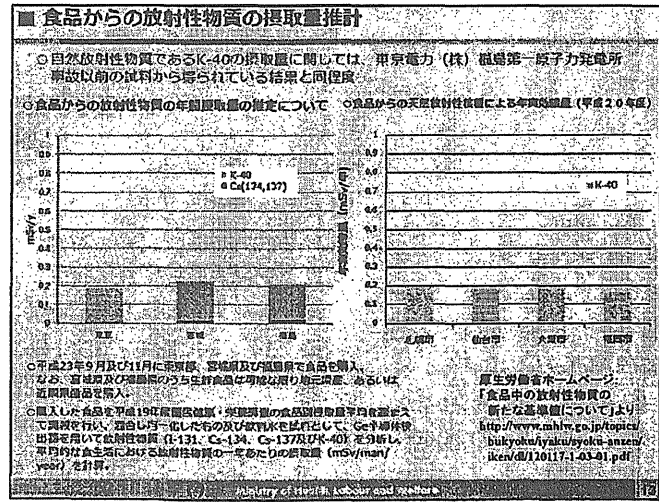
各国の規制値									
(参考) 放射性核種に係る日本、各国及びコーデックスの指標値									
核種	放射性ヨウ素 ¹³¹ I				放射性セシウム ¹³⁴ Cs、 ¹³⁷ Cs				
	飲料水	牛乳・乳製品	野菜類・穀類・肉・卵・魚・その他	その他	飲料水	牛乳・乳製品	野菜類	穀類	肉・卵・魚・その他
日本	500	200	2,000	100	(10) 200	(50) 200	(100) 500	(100) 500	(100) 500
Codex	100	100	100	100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
シンガポール	100	100	100	100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
タイ	100	100	100	100	500	500	500	500	500
韓国	200	150	500	300	370	370	370	370	370
中国	-	50	100	100	-	300	210	200	200
香港	100	100	100	100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
台湾	500	50	200	300	370	370	370	370	370
フィリピン	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ベトナム	100	100	100	100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
マレーシア	100	100	100	100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
米国	170	170	170	170	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
EU	200	200	2,000	200	200	200	500	600	600

(注) Codex に対応しては、放射性ヨウ素の他に放射性セシウム (¹³⁴Cs、¹³⁷Cs) は、Sr-90、Ru-106、I-129、I-131、U-235の合計
放射性セシウムの他に放射性ヨウ素 (100) は、Cs-134、Cs-137、Cs-138、Cs-139、Cs-140、Cs-144、Cs-147 の合計
(参考) ①内は2012年4月1日以降；牛乳、乳飲料以外の乳類は100 Bq/kg
②ヨウ素の指標値
③セシウムの指標値

ICRP 国際放射線防護委員会
食糧摂取 60mSv/年
(1000 Bq/kgの食品を1年摂取)
3000 Bq/kgの食品を1年摂取

食料摂取 50mSv/年
(1000 Bq/kgの食品を1年摂取)
2000 Bq/kgの食品を1年摂取

米のセシウム汚染状況 (2011年8月～厚生労働省発表)						
地域	検査数	検出レベル (Bq/kg)				
		不検出	<10	10 ≤ <50	50 ≤ <100	100 ≤
青森	32	32				
岩手	102	101		1		
宮城	381	381				
秋田	73	73				
山形	291	291				
福島	1281	1081	27	151	14	8
茨城	389	384		1	3	
栃木	252	249		1	2	
群馬	93	91			2	
埼玉	113	113				
千葉	294	293		1		
東京	11	11				
神奈川	2	2				
山梨	51	51				
長野	68	68				
静岡	6	6				
合計	3439	3228	27	155	21	8
(%)	100.00	93.86	0.79	4.51	0.61	0.23



放射性物質に係る食品の安全確保対策

政府対応：食品衛生法に基づく規格基準設定

厚生労働省：食品中の放射性物質への対応

http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/shokuhin.html

原子力災害対策特別措置法に基づく

食品に関する出荷制限、摂取制限

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001a3pj-att/2r9852000001a3rg.pdf>

民間対応

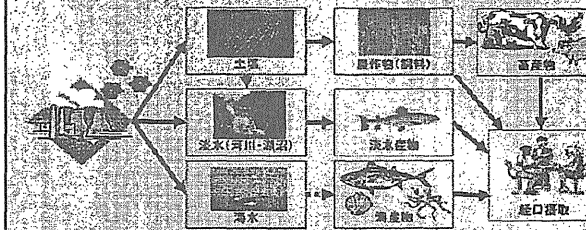
1. 閾値設定（食品衛生法または独自規格）
2. トレーサビリティ確保（出荷制限、摂取制限確認）
3. 検査

規制対象とする放射性核種の考え方について②

●規制値設定の考え方

放射性セシウム以外の核種（ストロンチウム90、プルトニウム、ルテチウム106）は、測定に時間がかかるため、移行経路ごとに各放射性核種の移行濃度を解析し、産物・年齢区分に応じた放射性セシウムの寄与率を算出し、合計して1mSvを超えないように放射性セシウムの基準値を設定する。

※放射性セシウム以外の核種の線量は、例えば19歳以上で約12%。



食品中の放射能測定方法

緊急時における食品の放射能測定マニュアル（2011.3.17厚労省通知）

1. NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる放射性ヨウ素の測定法
2. ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーによる核種分析法
3. ウラン分析法及びプルトニウムの迅速分析法
4. 放射性ストロンチウム分析法

牛肉中の放射性Csスクリーニング法（2011.7.29厚労省事務連絡）

米及び麦類中の放射性Csスクリーニング法（2011.10.4厚労省事務連絡）

食品中の放射性Csスクリーニング法（2012.3.1厚労省事務連絡）

食品中の放射性セシウム検査法（2012.3.15厚労省通知）

文部科学省放射能測定法シリーズ

7. ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー
24. 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法

放射線測定

ガイガー・ミュラー計測管

電離された不活性ガスを測定

α, β, γ （計測効率各80, 80, 5%）

ゲルマニウム半導体検出器

ゲルマニウム結晶に生じた電荷を測定

γ

シンチレーション検出器

電離作用により生じた蛍光を測定

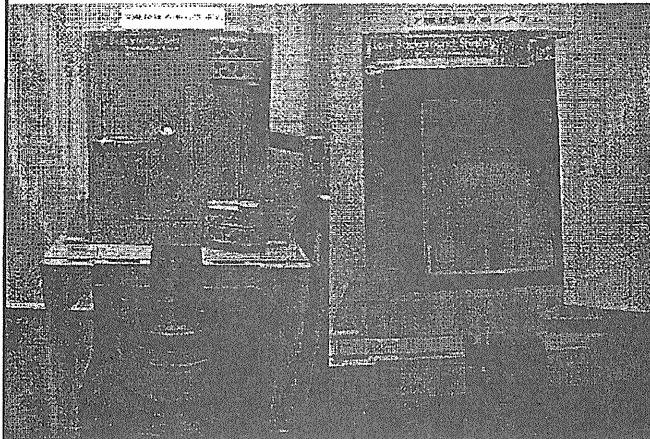
α, β, γ

ICP-MS

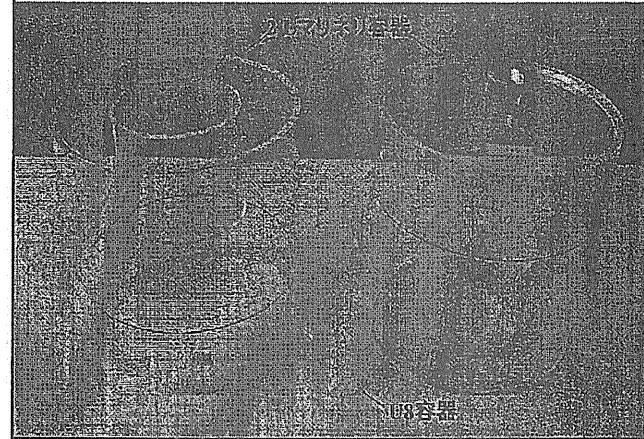
緊急時における食品の放射能測定マニュアル

U, Puの迅速分析法

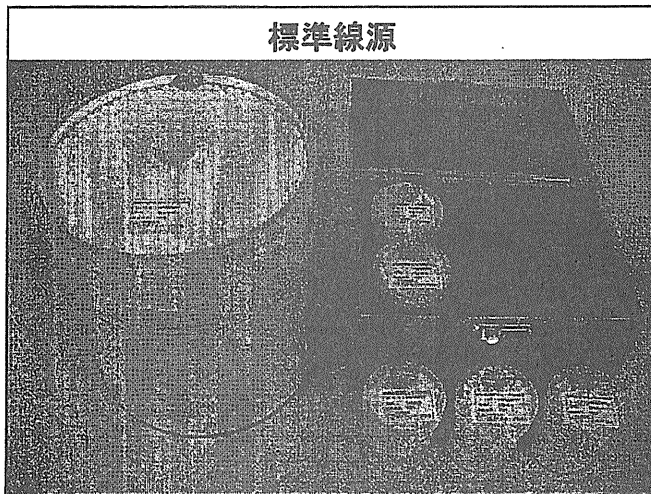
ゲルマニウム半導体検出器



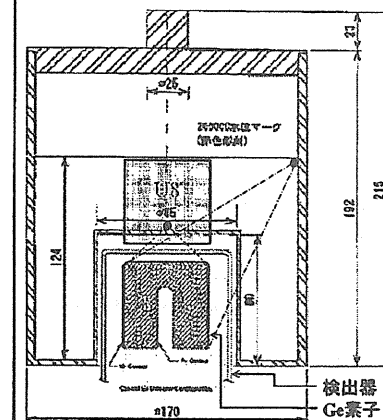
測定用容器



標準線源

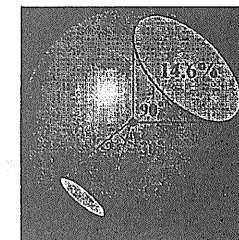


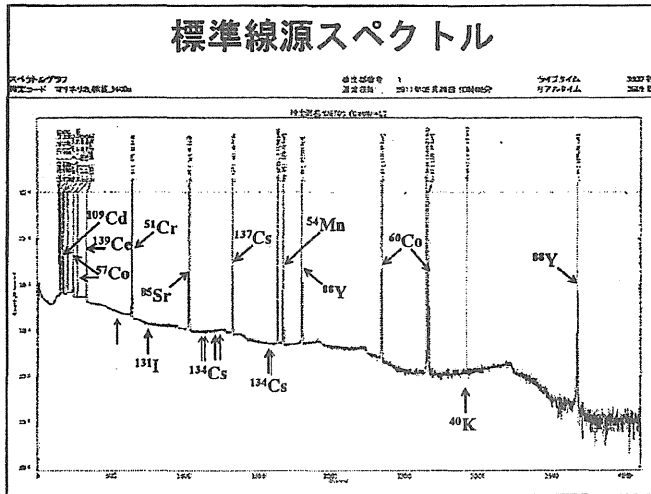
検出効率



2 Lマリネリ容器の¹³⁷Cs-γ検出率
(98047-9976)/3600/3737
=0.65%

U8容器(5 cm)の¹³⁷Cs-γ検出率
(9830-919)/3600/360
=0.69%





検査の信頼性確保

測定装置の管理
エネルギー校正、ピーク効率校正、
サム効果補正 (ピーク・トータル比校正)
自己吸収補正、バックグラウンド管理

検体の調製
均一化、空隙
汚染防止

測定結果の確認
ピーク位置
測定値、再現性、検出限界

食品中の放射性セシウム検査法 (2012.3.15厚労省通知)

検査結果の信頼性管理

- 1) 測定日毎にバックグラウンド測定
- 2) 測定日毎に空の測定容器を用いて測定
- 3) 定期的に標準線源を用いて校正
- 4) 測定日毎にエネルギースケール確認

測定

- 1) 検出限界値が基準値の1/5以下
- 2) 基準値濃度における X/σ が10以上
 X : 測定値、 σ : 標準偏差

$$X_{Cs134} + X_{Cs137} > ((\sigma_{Cs134})^2 + (\sigma_{Cs137})^2)^{1/2}$$

